

## АНАЛИЗ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА КОМБИНИРОВАННЫХ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ТЭС УФ- СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Власова А.Ю., Бабиков О.Е.

Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Россия  
vlasovaay@mail.ru

**Резюме:** Актуальность данного исследования заключается в поэтапном анализе теплоносителя для различных ВПУ с применением УФ-спектрофотометра. **ЦЕЛЬ.** Определение качества теплоносителя на каждом этапе очистки водоподготовительной установки тепловой электрической станции. Основной акцент был сделан на определение содержания органических веществ с помощью спектрального режима. Определение органических веществ на каждом этапе очистки позволит охарактеризовать эффективность выбранной технологии для организации водоподготовительного процесса. **МЕТОДЫ.** Отобранные пробы теплоносителя были подготовлены и проанализированы на спектрофотометре Shimadzu UV-1800. С помощью программного обеспечения UV Probe были зарегистрированы спектры проб и построены графические зависимости интенсивности поглощения при определенной длине волны. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** В качестве объекта исследования были выбраны установки подготовки воды на филиалах АО «Татэнерго» Казанской ТЭЦ-1 и Казанской ТЭЦ-2. На основании полученных данных были выявлены наиболее уязвимые участки и предложены технологические решения для улучшения качества очистки теплоносителя, а также внедрение автоматического контроля на блоках с нестабильной работой. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Введение баромембранных технологий в подготовку воды на ТЭС дало толчок к расширению контролируемых показателей теплоносителя, а именно контролю содержания органических веществ. Не все технологии подготовки воды способны снизить концентрацию органических веществ до требуемых параметров. Анализ с применением УФ-спектрофотометра позволяет быстро и точно определить содержание органики в воде и выявить отклонения в процессе подготовки теплоносителя. При высоком содержании органических веществ требуется блок дополнительной фильтрации. В качестве фильтрационных материалов могут выступать: активированный древесный уголь, кокосовый уголь, органопоглощающие смолы.

**Ключевые слова:** органические соединения; спектрофотометрический анализ; водоподготовительные установки; тепловые электрические станции.

**Для цитирования:** Власова А.Ю., Бабиков О.Е. Анализ очистки воды на комбинированных водоподготовительных установках ТЭС УФ-спектрофотометрическим методом // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. №3 (59). С.82-93.

## ANALYSIS OF WATER PURIFICATION AT COMBINED WATER TREATMENT PLANTS OF THERMAL POWER PLANTS BY UV SPECTROPHOTOMETRIC METHOD

A.Y. Vlasova, O.E. Babikov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia  
ORCID: 0000-0001-8520-5432, vlasovaay@mail.ru

**Abstract:** RELEVANCE of this study lies in the post-stage analysis of the coolant for various VPUs using a UV spectrophotometer. THE PURPOSE. Determination of the quality of the coolant at each stage of purification of the water treatment plant of the thermal power plant. The main emphasis was placed on determining the content of organic substances using the spectral mode. The determination of organic substances at each stage of purification will allow

us to characterize the effectiveness of the chosen technology for the organization of the water treatment process. **METHODS** The selected coolant samples were prepared and analyzed on a Shimadzu UV-1800 spectrophotometer. With the help of the UV Probe software, the spectra of the samples were recorded and graphical dependences of the absorption intensity at a certain wavelength were constructed. **RESULTS.** Water treatment plants at the branches of JSC Tatenergo of Kazan CHPP-1 and Kazan CHPP-2 were selected as the object of the study. Based on the data obtained, the most vulnerable areas were identified and technological solutions were proposed to improve the quality of coolant cleaning, as well as the introduction of automatic control on units with unstable operation. **CONCLUSION.** The introduction of baromembrane technologies into water treatment at thermal power plants gave an impetus to the expansion of controlled indicators of the coolant, namely, the control of the content of organic substances. Not all water treatment technologies are able to reduce the concentration of organic substances to the required parameters. Analysis using a UV spectrophotometer allows you to quickly and accurately determine the organic content in water and identify deviations in the process of preparing the coolant. With a high content of organic substances, an additional filtration unit is required. Activated charcoal, coconut charcoal, organo-absorbing resins can act as filtration materials.

**Keywords:** organic compounds; spectrophotometric analysis; water treatment plants; thermal power plants.

**For citation:** Vlasova AY, Babikov OE. Analysis of water purification at combined water treatment plants of thermal power plants by uv spectrophotometric method. KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY BULLETIN. 2023;15;3(59):82-93.

#### **Введение (Introduction)**

Ввод в эксплуатацию парогазовых установок (ПГУ) значительно расширил нормируемые показатели теплоносителя. Современные установки требуют жесткое контролирование содержания органических веществ, которые значительно влияют на надежность и качество работы технологических систем и оборудования. Изменение требований качества теплоносителя привело к технологическим адаптациям схем водоподготовительных установок. Современные тенденции в проектировании новых водоподготовительных установок и реконструкции старых основаны на комплексном подходе, который ориентируется на проблемы водоподготовки, водоотведения и организации водно-химических режимов

Большая часть водоподготовительных установок на ТЭС организована по ионообменным технологиям, с использованием мембранных процессов и термообессоливания. В настоящее время схемы водоснабжения и водоотведения могут включать в себя разнотипные системы (например, ионный обмен и мембранные методы), что в свою очередь ставит новую задачу исследования комплексного взаимодействия данных установок.

На энергетических предприятиях в настоящее время для очистки и подготовки исходной воды нашли широкое применение комбинированные схемы водоподготовки, на основе баромембранных и ионообменных методов. На зарубежных предприятиях организованы малосточные/бессточные схемы подготовки воды с применением мембранных технологий. Использование данных схем требует тщательного контроля физико-химических показателей теплоносителя, где основной акцент делают на содержание органических веществ, которые приводят к биообрастаниям, коррозии и как следствие, снижению надежности и эффективности работы основного оборудования.

В 2009 г. в ОАО ВТИ был разработан стандарт [1], в котором приведены нормируемые значения показателей качества теплоносителя с учетом применения мембранных методов очистки воды и использования полиаминов при организации водно-химического режима (ВХР) на энергоблоках тепловых электрических станций. В нормируемые показатели качества воды был введен общий органический углерод (ООУ) или ТОС (Total Organic Carbon) [2].

Органические соединения существенно снижают эксплуатационные характеристики теплоэнергетического оборудования, вызывая язвенный тип коррозии. В мировой практике данным вопросом занимаются с 1985 года. [3, 4] Поэтому на зарубежных электростанциях был введен такой показатель как общий органический углерод и определены предельные значения. В пароводяном цикле электростанций

допускалось содержание общего органического углерода до 8 мг/кг [4]. Ввод критических параметров базируется на практических исследованиях, в ходе которых было выявлено, что большая часть аварий вызвана высокой концентрацией органических веществ в питательном тракте [5, 6]. При термоллизе и гидролизе в котлах органические примеси разрушаются и превращаются в «потенциально опасные вещества». [6] Предугадать продукты реакции термического разложения органических веществ невероятно тяжело, поэтому данная тема открыта для исследований.

*Цель данной работы* заключается в определении органических соединений в теплоносителе различных ВПУ с использованием УФ-метода анализа. В России показатель общий органический углерод совсем недавно ввели в перечень обязательных показателей качества теплоносителя. Методика определения невероятно сложна и имеет массу недостатков [7]. Автоматические приборы для измерения общего органического углерода очень дорогие, поэтому на тепловых электрических станциях их нет. Научная значимость данной работы состоит в возможности определения содержания органических соединений с помощью УФ просвечивания пробы, без использования сложного оборудования. На сегодняшний день в стандартной системе химического контроля на электростанциях органические примеси контролируются только на стадии предварительной обработки воды, т.е. на стадии коагуляции и фильтрации. Как и десятилетия назад, определяется цвет воды (окрашиваются органические гумусовые кислоты), перманганатная окисляемость или химическое потребление кислорода. [8]. *Практическая значимость* работы заключается в расширении знаний о количественном содержании органических веществ на каждой стадии обработки теплоносителя с использованием комбинированных методов подготовки.

Тематика данной работы актуальна, так как современные комбинированные технологии подготовки воды требуют расширения перечня контролируемых показателей качества теплоносителя и как следствие внедрение более точных и быстрых методов анализа.

#### *Литературный обзор (Literature Review)*

Содержание органических веществ в природной воде постоянно меняется. Основные факторы, влияющие на их содержание: сезонные (паводковые) изменения, техногенные факторы. Тем не менее содержание органических веществ превышает содержание неорганических. Органические соединения очень разнообразны и примерный состав можно описать только рамках одного водоемисточника и сезона. Под действием высоких температур органические примеси подвергаются деструкции и образуют сложные вещества, которые усиливают скорость коррозии теплового оборудования. По характеру органических примесей, которые могут присутствовать в исследуемых образцах по химическому анализу преобладают гуминовые вещества и некоторые другие органические молекулы. Гуминовые вещества имеют хорошую растворимость в воде, их проскальзывание через ионообменные фильтры и перенос с некоторыми паровыми фракциями происходит благодаря их термической стабильности.

На сегодняшний день существует несколько методов определения органических веществ в водных фазах. Авторы Невский А.Б., Ларин Л.А., Виноцкая З.И. предложили способ контроля содержания органических соединений в водных растворах. Данный способ определения опирается на измерение количества электричества в процессе связывания органических веществ в исследуемой воде. Недостатком данного решения является недостаточная точность и высокая сорбционная способность на поверхности индикаторного электрода. [9] веществ в воде опирающийся на использование картриджа был разработан Антохиным А.М. и Малининым А.В. Суть способа опирается на отбор пробы анализируемой воды в картридж, наполненный полимерным сорбентом на основе сшитого водопоглощающего акрилового сополимера. Дальнейший анализ сорбционной эффективности оценивается хроматографическим методом. Недостатком данного метода является подбор сорбционного материала и наличие поставленной, отработанной методики на хроматографе. [10]

Зобков М.Б и Масутова М.Р. разработали устройство для определения органического углерода в воде. Устройство содержит блок подачи газа-носителя и расположенные на газовой магистрали ареометр, патрон с адсорбентом (в качестве абсорбента используют аскарит), фотохимический блок, в котором установлены две ртутно-кварцевые лампы с размещенной между ними фотохимической ячейкой, на выходе которой установлен обратный холодильник, к которому последовательно подсоединены патрон с ангидроном и измерительный блок с размещенным в нем анализатором. В качестве прибора анализатора используется ИК-фурье. Прибор очень

чувствителен к влажности, поэтому необходим дополнительный осушитель. Блок продувки оснащен осушителем, в качестве осушителя используют силикагель. Данный адсорбент обладает отличной адсорбционной способностью. Недостатком данного метода является сложность конструкции и небольшая воспроизводимость результатов анализа. [11]

Зуев Б.К предложил новый способ определения органических соединений в воде, который называется окситермографией. Предлагаемый метод основан на программированном высокотемпературном окислении органического вещества в потоке бинарного газа (кислород – инертный газ) или в потоке атмосферного воздуха и количественном определении молекулярного кислорода, затраченного на это окисление. С помощью данного метода измеряется окисляемость анализируемой пробы. Окситермография опирается на измерении количества кислорода выделяющегося в процессе нагрева образца в газовой атмосфере. Недостатком данного метода является сложность экспериментальной установки и необходимость поддержания высоких температур. [12]

Зарубежные исследователи, согласно патенту №5244811, раскрыли способ определения органических веществ в водной среде с применением окислителя. Способ определения органического вещества основывается на фотоокислении органического вещества с помощью фотокатализатора с образованием по меньшей мере одного побочного продукта фотокаталитического действия. Данный способ включает две стадии: пропускание раствора через сосуд, содержащий фотокатализатор, нанесенный на поверхность сосуда и обнаружение побочного продукта. Освещение фотокатализатора ультрафиолетовым светом должно быть таким образом, чтобы фотокатализатор, покрывающий поверхность сосуда располагался между источником ультрафиолетового света и раствором. Размещение фотокатализатора в тесном контакте с источником освещения обеспечивает полное окисление с образованием побочных продуктов. [13].

Количественный анализ органических веществ очень сложный. Косвенно содержание органики можно определить с помощью титриметрических методов, а именно определение перманганатной окисляемости и ХПК, БПК. Также существуют анализаторы общего и органического углерода, однако они очень дорогостоящие для тепловых электрических станций, поэтому нашли применение более доступные методы кондуктометрические и оптические измерения, выполняемые в лабораториях на станциях. Оптические исследования возможно провести на спектрофотометре. [14-15]

Анализ литературных источников показал, что большинство предложенных методов по определению органических веществ в водной среде имеют такие недостатки как: сложность конструкции, дороговизна, необходимость поддержания оптимальных параметров, низкая сходимость результатов, невозможность использования в лабораториях на промышленных объектах. Поэтому разработка метода количественной оценки содержания органических веществ нерешенная задача для многих производственных секторов.

#### ***Материалы и методы (Materials and methods)***

Электронная спектрофотометрия является физическим методом, позволяющая определить структуру молекул в исследуемом образце и установить связь ее с типом первичной (химической) структуры, стехиометрические особенности сопряженных систем. Метод электронной ультрафиолетовой спектрофотометрии широко используется для определения концентрации, получения количественных характеристик кислотно-основных, таутомерных равновесий, кинетического контроля реакций обнаружения и характеристики интермедиатов в темновых и фотохимических процессов и других.

Спектрофотометрический анализ исследуемых образцов проводился на спектрофотометре UV-1800 компании изготовителя Shimadzu. Данные прибор двулучевой и применим для научных лабораторных исследований. Точность и воспроизводимость спектров составляет 98%. Рабочий диапазон поглощения от 190 до 800 нм. Данный прибор оснащен двумя кюветами, одна кювета сравнения, другая для измерения. Встроенное программное обеспечение UV Prode позволяет работать в четырех режимах: фотометрический, спектральный, кинетический и количественный.

Спектральный анализ проводился согласно методике «Методы оптической спектроскопии» методическое пособие, составители: Федорова О.А., Кулакова И.И., Сотникова Ю.А. и др. Данная методика не входит в перечень государственных стандартов, а опирается на европейскую систему оценки SPECIFIC ULTRAVIOLET ABSORBANCE (SUVA) AND UV254. Методика SUVA254 является одним из индикаторов, используемых в гидрохимическом анализе для оценки содержания

органического вещества в воде. Он основывается на измерении показателя SUVA, который определяется поглощением света при длине волны 254 нм. Значение SUVA<sub>254</sub> обычно используется для оценки качества органического вещества в воде. Более высокие значения SUVA<sub>254</sub> указывают на большую концентрацию природного органического вещества, которое может быть более стабильным и менее подверженным биологическому разложению.

Важным критерием в оценке эффективности очистки воды является показатель цветности. За данный показатель отвечает длина волны 400 нм. При данной длине волны поглощают свет:

хлорофилл, основной пигмент, ответственный за фотосинтез в растениях, поглощает свет в области 400-500 нм;

- конъюгированные двойные связи: Конъюгированные системы двойных связей в органических соединениях могут поглощать свет в видимом спектре, включая длину волны 400 нм. Они поглощают свет благодаря электронным переходам между энергетическими уровнями.

- органические красители: некоторые органические красители, включая синие пигменты, могут поглощать свет в области 400 нм. Они содержат цветные хромофоры, которые приводят к поглощению определенного диапазона длин волн.

- некоторые неорганические соединения, такие как оксиды и соли переходных металлов, могут также поглощать свет при длине волны 400 нм.

Следующим важным значением оценки эффективности очистки (особенно механической) является показатель мутности, который соответствует длине волны 600 нм. При данной длине волны обнаруживаются:

- фитохромы - это светочувствительные пигменты, которые присутствуют у растений. Они поглощают свет в красной и ближней инфракрасной областях спектра. Типичные формы фитохромов, называемые P660 и P730, поглощают свет при длине волны около 660 нм (фитохромы Pfr) и 730 нм (фитохромы Pr) соответственно;

- каротиноиды - это группа пигментов, которые обеспечивают красные, оранжевые и желтые цвета многих фруктов, овощей и цветов. Каротиноиды, такие как бета-каротин и ликопин, поглощают свет в оранжевой и красной областях спектра, включая 600 нм,

- флавоноиды - это группа полифенольных соединений, которые встречаются во многих растениях. Некоторые флавоноиды, например кверцетин и рутин, поглощают свет в желто-оранжевой области спектра, включая 600 нм.

На основе анализа длин волн: 254, 400, 600 нм можно сделать максимально полный анализ по содержанию органических веществ в анализируемой пробе. Исходной водой для подготовки теплоносителя на Казанской ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 является речная вода Куйбышевского водохранилища реки Волга.

На Казанской ТЭЦ-1 технология подготовки воды реализована с применением «традиционной» технологии на основе ионного обмена, на Казанской ТЭЦ-2 организована комбинированная схема подготовки воды, на основе баромембранных и ионообменных методов.

На Казанской ТЭЦ-1 организована традиционная технология подготовки воды, которая включает в себя следующие ступени очистки: предварительная очистка воды с применением осветлителя ВТИ, механическая очистка на фильтрах, Н-катионирование I ступени, ОН-анионирование I ступени. Вода, прошедшая первую ступень фильтров направляется на декарбонизатор эжекторного типа. Далее вода поступает в баки частично-обессоленной воды и поступает на Н-катионирование II ступени, ОН-анионирование II ступени (рисунок 1). Анионитовые фильтры II ступени загружены сильноосновным анионитом. Вторая ступень необходима для обескремнивания. Также на данной стадии убираются остатки свободной углекислоты, которые поступают из Н-катионированной или частично-обессоленной воды. После анионитовых фильтров II ступени обессоленная вода поступает в баки обессоленной воды. В данной схеме были выбраны следующие точки отбора воды: исходная вода, после осветлителя, после механического фильтра, выход с Н-катионитового фильтра I ступени, выход с ОН-анионитового фильтра I ступени, выход с Н-катионитового фильтра II ступени, выход с ОН-анионитового фильтра II ступени.

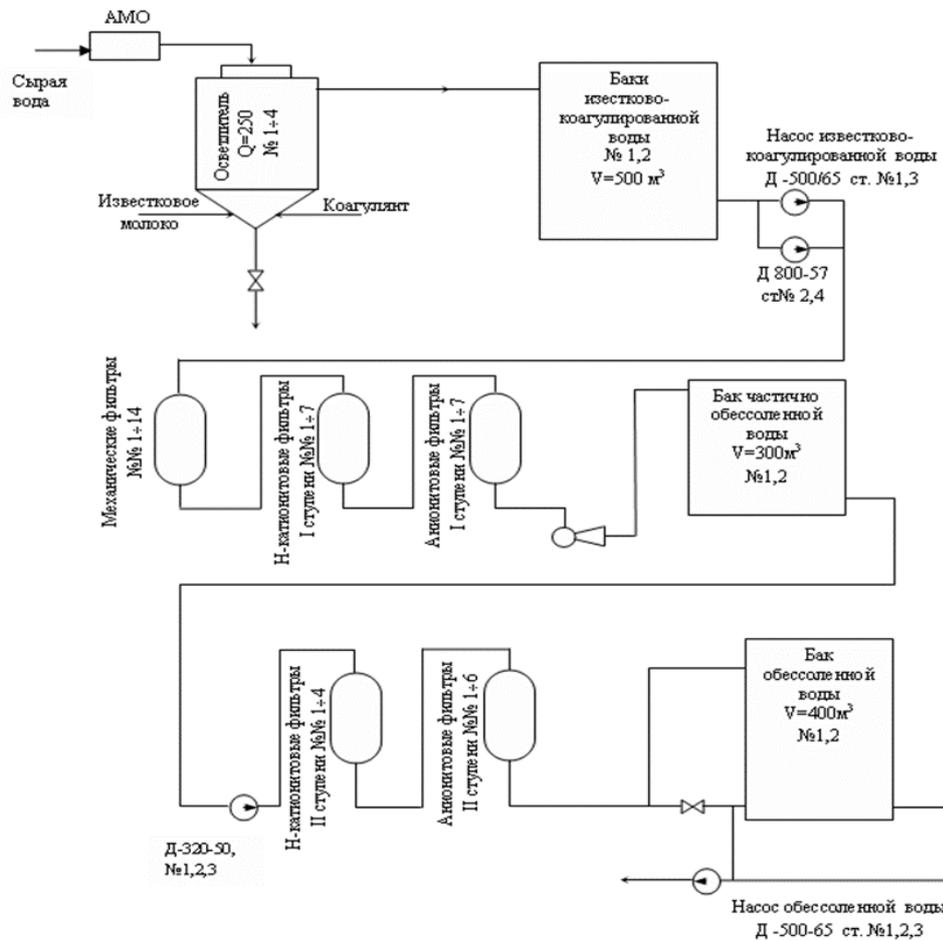


Рис 1. Принципиальная схема обессоливающей установки Казанской ТЭЦ-1

Fig. 1. Schematic diagram of the Kazan CHP-1 desalination plant

Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author

Система подготовки воды на Казанской ТЭЦ-2 организована с применением баромембранных технологий, с последующей обработкой на блоках ионного обмена (рисунок 2). Исходная вода поступает на автоматические сетчатые фильтры с параллельным дозированием реагентов, далее вода поступает на установку микрофильтрации. Далее осветленная вода скапливается в баках осветленной воды и направляется на установку обратного осмоса. Осветленная вода в блоке обратного осмоса под давлением разделяется на два потока: чистого пермеата и концентрата. Концентрат сбрасывается на очистные сооружения, а частично обессоленная вода проходит через декарбонизаторы. После декарбонизаторов частично обессоленная вода поступает в накопительные баки. С баков частично обессоленная вода подается на установку ионного обмена. Обессоливание воды путем ионного обмена заключается в последовательном фильтровании через Н-катионитный, а затем анионитный фильтры. В Н-катионитном фильтре катионы, содержащиеся в исходной воде, обмениваются на водород, а в фильтрате образуется эквивалентное количество кислоты из анионов, с которыми были связаны поглощенные катионы. На анионитном фильтре анионы кислот, образовавшихся при Н-катионировании, задерживаются анионитом, в результате получается обессоленная вода. В данной схеме очистки были выбраны следующие точки отбора: исходная вода, вода после сетчатого фильтра, выход с блока микрофильтрации, выход с блока обратного осмоса, концентрат после обратного осмоса, выход с Н-катионитового фильтра, выход с ОН-анионитового фильтра.

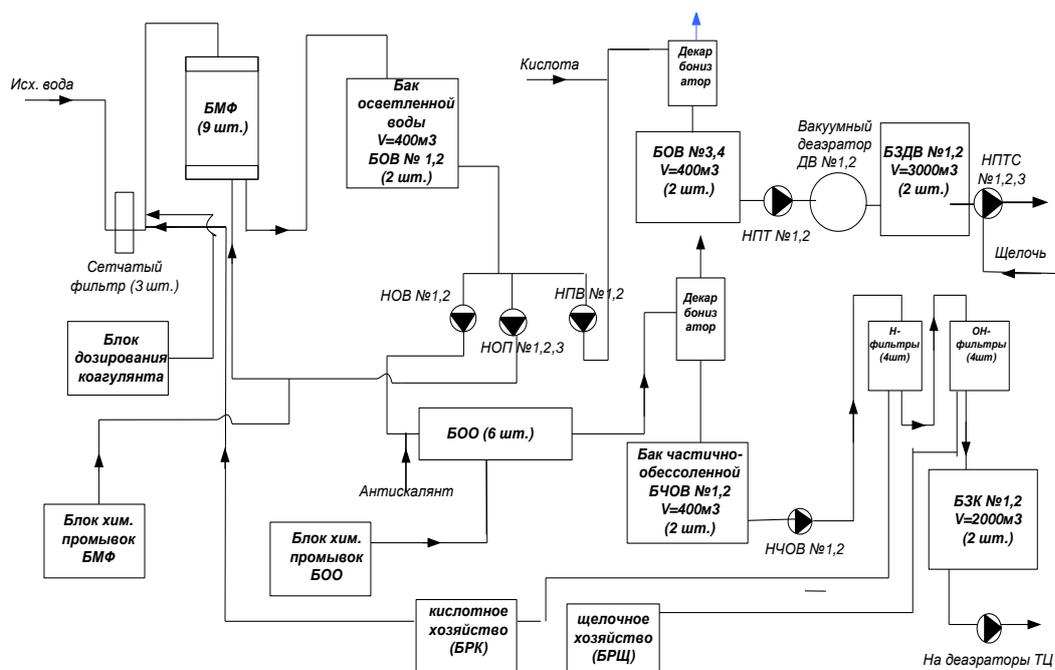


Рис 2. Принципиальная схема подготовки воды Казанской ТЭЦ-2

Fig 2. Water Treatment Scheme of the Kazan CHP-2

\*Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author

Для проведения экспериментальной части были отобраны пробы воды. Пробы отбирались в соответствии с требованиями ГОСТ 31942-2012.

Отобранные пробы воды были подготовлены и проанализированы на спектрофотометре Shimadzu UV-1800. С помощью программного обеспечения UV Probe были зарегистрированы спектры проб и построены графические зависимости интенсивности поглощения при определенной длине волны.

#### Экспериментальные исследования

Цель экспериментальной части заключалась в получении спектральных графических зависимостей и анализе полученных кривых.

Согласно результатам, полученным на основании электронного спектрофотометрического анализа отбираемых проб воды Казанской ТЭЦ-1 (рисунки 3-4) видно, что преобладают органические вещества (органические кислоты, фенолы, гумусовые вещества, азотсодержащие соединения, углеводы). Содержание органики в значительном количестве ведет к ухудшению качества пара к образованию коксоподобных отложений на поверхностях теплопередающего оборудования, а также приводит к бурному вспениванию воды. Распад органики при нагревании воды приводит к образованию угольной кислоты, которая понижает водородный показатель и тем самым вызывает увеличение скорости коррозии. Поэтому нормирование содержания органических соединений выходит на первый план при организации водоподготовки. При подготовке воды для котлов высоких параметров нормирование органики составляет не более 10 мкг-экв/л. Этот критерий объясняется тем, что при высоких температурах органика превращается в коррозионноопасные продукты. Наличие “кислой органики” в паре даже в малых количествах (< 1 мг/кг) способно вызвать серьезные повреждения лопаток турбины, так как эти вещества проникают в трещины и щели на поверхности металла. При этом стоит отметить, что органические примеси гумусовой природы не только снижают качество подготовленной воды, но и влияют на ионообменные материалы, которые используются в ионообменных фильтрах водоподготовительных установок.

На Казанской ТЭЦ-1 концентрация органических веществ (гуминовые кислоты, растительная органика и т.д.) снижается после предварительной очистки с применением осветлительного оборудования и механических фильтров примерно на 20%. Согласно спектрам видно, что концентрация веществ после механического фильтра меньше чем после осветлителя. Незначительное увеличение органики после катионитного фильтра I ступени объясняется тем, что проба воды была отобрана в конце фильтроцикла, и как

следствие наблюдается ее рост. Т.е. интенсивность пика на спектре несколько выше чем в других пробах, что может свидетельствовать о более высоком или разнообразном содержании органических веществ. Также отметим, что именно Н-катионитовые фильтры I ступени подвержены «отравлению» гумусовыми кислотами. Происходит снижение ионообменной емкости ионита за счет блокировки пор обессоливающих ионитов. Чаще всего это сказывается на продолжительности фильтроцикла, а именно его сокращении, поэтому появляется необходимость в более частых регенерациях, что влечет за собой увеличение экономических расходов и как следствие увеличение количества сточных вод. На анионитовом фильтре происходит поглощение органических соединений, что ведет к изменению спектра. На первой ступени происходит поглощение 90% всех органических соединений, содержащихся в воде. Поэтому спектры второй ступени и после ФСД практически не отличаются. Органические примеси негативно влияют на ФСД, а именно анионитная часть подвергается дополнительной шивке, в результате чего плотность будет увеличиваться. Так как в ФСД разделение катионита и анионита происходит за счет разности плотностей, то «отравленный» шитый анионит нарушает процесс разделения. При регенерации фильтра 20% его объема остается неразделенным, что отражается на качестве подготовленной воды.

Применение метода ионообменного обессоливания оптимально при небольшом соледержании воды не более 400 мг/дм<sup>3</sup>. При большей минерализации разумнее применять баромембранные процессы.

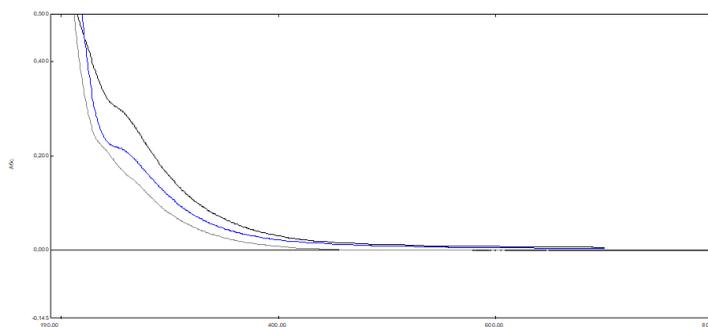


Рис. 3 Спектры образцов воды Казанской ТЭЦ-1 Интерфейс now Prode. Нумерация сверху вниз: 1- исходная вода; 2 – вода после осветлителя, 3 – вода после механической фильтрации.

Источник: составлено автором.

Fig. 3 Spectra of water samples Kazan CHPP-1 Interface now Prode. Numbering from top to bottom: 1 - source water; 2 - water after clarifier, 3 - water after mechanical filtration.

Source: compiled by the author

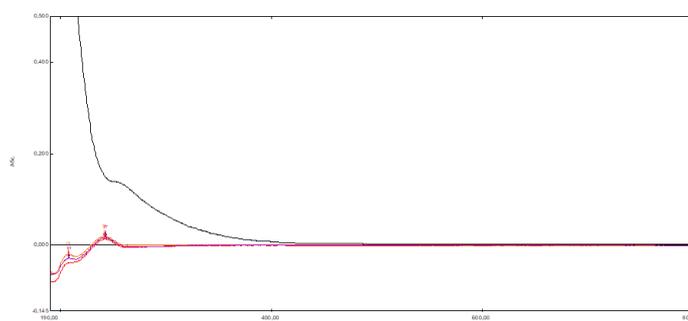


Рис. 4 Спектры образцов воды Казанской ТЭЦ-1 Интерфейс now Prode. Нумерация сверху вниз: 1- вода после Н-фильтра 1-ой ступени; 2 – вода после ОН-фильтра 1-ой ступени, 3 – вода после Н-фильтра 2-ой ступени, 4 – вода после ОН –фильтра 2-ой ступени .

\*Источник: составлено автором.

Fig. 4 Spectra of water samples Kazan CHPP-1 Interface now Prode. Top-down numbering: 1- water after 1st stage H-filter, 2 - water after 1st stage HE-filter, 3 - water after 2nd stage H-filter, 4 - water after 2nd stage filter.

Source: compiled by the author

Схема водоподготовительного оборудования Казанской ТЭЦ-2 организована с

применением баромембранных процессов, поэтому результаты анализа по содержанию органических соединений имеют другой вид (рисунки 5-7). Концентрация органических веществ снижается на этапах предварительной очистки, после сетчатых фильтров и блока микрофильтрации. После обратного осмоса замечен рост органических соединений. Блок обратного осмоса часто подвержен биологическим обрастаниям из-за благоприятных условий развития бактерий. Поэтому спектр частично обессоленной воды обладает большим пиком, что свидетельствует о большей концентрации органики. Снижение органических соединений происходит на стадии очистки на катионитовом и анионитовом фильтрах.

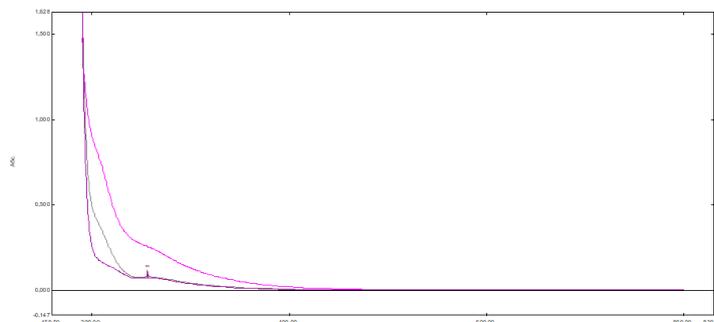


Рис. 4 Спектры образцов воды Казанской ТЭЦ-2 Интерфейс now Prode. Нумерация сверху вниз: 1- исходная вода; 2 – вода после осветления, 3 – вода после блока обратного осмоса.

Fig. 4 Spectra of water samples Kazan CHPP-2 Interface now Prode. Top-down numbering: 1- source water; 2-water after clarification; 3-water after reverse osmosis block.

Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author

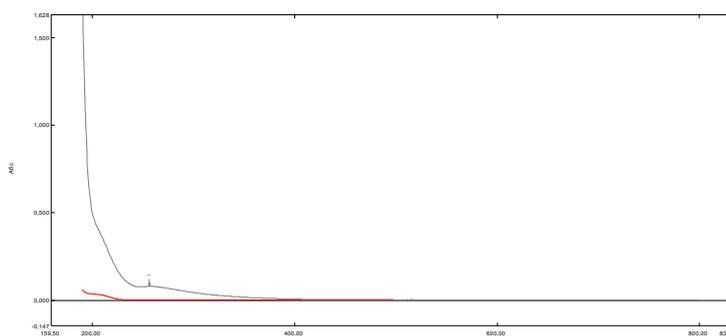


Рис. 5 Спектры образцов воды Казанской ТЭЦ-2 Интерфейс now Prode. Нумерация сверху вниз: 1- после блока обратного осмоса; 2 – вода после Н-фильтра.

Fig. 5 Spectra of water samples of Kazan CHPP-2 Interface now Prode. Numbering from top to bottom: 1 after reverse osmosis unit; 2 - water after H-filter.

\*Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author

При эксплуатации мембранных технологий необходимо тщательно очищать воду от органических веществ, коллоидных частиц, тяжелых металлов и солей жесткости. При невыполнении данных требований возникают проблемы при эксплуатации мембранных блоков. Дорогостоящие мембраны выходят из строя, сокращается их эксплуатационный период в 2-3 раза. Гуминовые и фульвокислоты могут образовывать комплексы с галогенсодержащими продуктами, протеинами, пластификаторами, гербицидами, инсектицидами и др. веществами. Данные кислоты являются «носителями» органических и минеральных веществ, которых не должно быть в технологических водах.

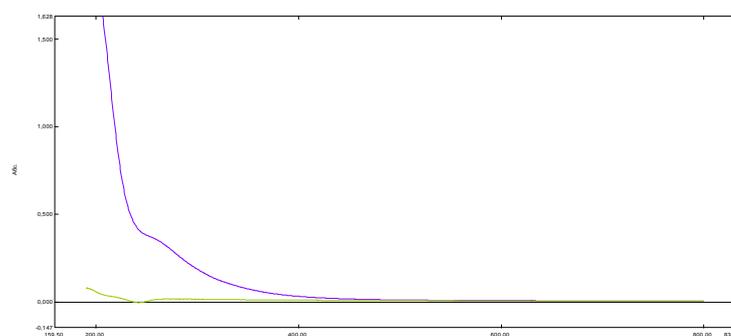


Рис. 6 Спектры образцов воды Казанской ТЭЦ-2 Интерфейс now Prode. Нумерация сверху вниз: 1- концентрат после блока обратного осмоса; 2 – вода после ОН-фильтра.

Fig. 6 Spectra of water samples of Kazan CHPP-2 Interface now Prode. Top-down numbering: 1 - concentrate after reverse osmosis unit; 2 - water after OH filter.

\*Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author

Таким образом применение комбинированных технологий водоподготовки с заменой ионообменных фильтров мембранными корпусами не дает гарантии полной очистки от органических соединений. Снижение концентрации органических веществ возможно путем применения комбинированных методов: ультрафильтрации, обратного осмоса, сорбции на активных углях и синтетических ионитах, применение окислителей или ультрафиолетового излучения для их разрушения. Данный вопрос не утрачивает своей актуальности на сегодняшний день.

#### **Заключение ((Conclusions))**

Проведен анализ действующих схем водоподготовки Казанских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2. Проведены исследования отобранных проб воды с водоподготовительных установок методом электронной спектроскопии на приборе UV-1800 Shimadzu. В результате исследования были построены и проанализированы графические зависимости интенсивности поглощения содержащихся веществ в пробах воды.

При анализе спектров проб воды на этапах водоподготовки теплоносителя Казанской ТЭЦ-1 с «традиционной» схемой, основанной на ионном обмене был выявлен рост органических веществ на группе фильтров Н-катионирования после предварительной очистки воды. На последующей стадии ОН-анионитового фильтра I ступени очистки воды, спектральный анализ показал резкое снижение присутствующих органических соединений.

В результате анализа спектров проб воды на этапах очистки комбинированной водоподготовительной установки Казанской ТЭЦ-2 был выявлен рост органических соединений на блоках обратного осмоса. Предположительно можно отметить, что химические промывки не обеспечивают полной отмывки мембранных модулей. Увеличение количества органических соединений может повлиять на срок службы мембран.

В качестве рекомендательных мер для снижения концентрации органических соединений необходима дополнительная очистка на фильтрах, где в качестве фильтрующих материалов используют: активированный древесный уголь, кокосовый уголь, огранопоглощающие смолы. Фильтрационные установки могут быть совмещены с блоком обратного осмоса.

Для повышения надежности работы мембран на установке обратного осмоса Казанской ТЭЦ-2 предлагается рассмотреть возможность ввода автоматического мониторинга органических соединений на блоках микрофильтрации и обратного осмоса, а также сокращение временного межпромывочного интервала мембран.

#### **Литература**

1. VGB-Standart. Feed water, boiler water and steam quality for power plants / Industrial Plants / Ed. VGB Power Tech e. V. 3rd ed. Essen: Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften, 2011.
2. Filimonova, A.A., Arakelyan, E.K., Chichirov, A.A. et al. Physicochemical Analysis of Organic Impurities in the Coolant of Combined Heat and Power Plants Equipped with Combined-Cycle Power Installations. Therm. Eng. 67, pp. 314–319 (2020). <https://doi.org/10.1134/S0040601520050067>

3. Proc. Int. Water Conf., 46th Annual Meeting, Pittsburgh, PA, Nov. 4–7,1985(Eng. Soc.West.Pa.,Pittsburgh,PA, 1985). <https://www.yumpu.com/en/document/read/11613116/the-international-water-conference-eswp>

4. Славинская Г.В., Селеменев В.Ф. Органические вещества как фактор, осложняющий кондиционирование воды промышленного и питьевого назначения // Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. Т. 7. № 2. С. 297–302.

5. Мартынова О.И., Петрова Т.Н., Ермаков О.С., Зотов А.А. Поведение продуктов термоллиза органических веществ в двухфазной области: кипящая вода–равновесный насыщенный пар // Теплоэнергетика. 1997. №6. С. 8-11.

6. Коровин В.А., Щербина С.Д. Потенциально опасные вещества для оборудования электростанций // Теплоэнергетика. 1999. №2. С. 48-50.

7. Belokonova N.A. The Effect Of Organic Impurities On Water Purification Processes In Heat And Power Engineering (Ekaterinburg: Azhur) 104 (2008)

8. Filimonova, A.A., et al. Physical and chemical methods of organic impurities control in the feed water of waste heat boilers of thermal power plants. Journal of Physics: Conference Series, 1565(1) (2020)

9. Невский А.Б., Ларин Л.А.,Виницкая З.И., Способ определения содержания органических веществ в воде, патент № 2011987.

10. Антохин А.М., Способ определения примесей органических веществ в воде и ее растворах, патент №2611390.

11. Зобков М.Б., Устройство для определения органического углерода в воде с фотохимическим персульфатным окислением в системе непрерывного газового потока и ИК-Фурье спектрометрическим детектированием // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т81. №5.

12. Зуев Б.К., Моржухина С.В., Окситермография – новый метод определенияорганического вещества в природных объектах // Географическая среда и живые системы. 2009. №4. С.47-52.

13. Ralph W. Matthews, Georges Hall, US Patent No. 5,244,811 (14 September 1993).

14. Vlasova A.Y. Chi-chirov A.A., Vlasov S.M., Babikov O.E., Ni-zamaeva A.V., Microbiological studies of ion exchange and combined water treatment plants //4Th international youth conference on radio electronics, electrical and power engineering, REEPE 2022.

15. Vlasova A.Y., Akhmetzyanova A.T., Babikov O.E, Analysis of the step-by-step water purification of a combined water treatment plant at a heat and power complex //4Th international youth conference on radio electronics, electrical and power engineering, REEPE 2022.

#### Авторы публикации

**Власова Алена Юрьевна** – канд. тех. наук, доцент кафедры «Атомные и тепловые электрические станции», Казанский государственный энергетический университет. *ORCID: 0000-0001-8520-5432, vlasovaay@mail.ru*

**Бабиков Олег Евгеньевич** – ассистент, кафедра Атомные и тепловые электрические станции, Казанский государственный энергетический университет.

#### References

1. VGB-Standart. Feed water, boiler water and steam quality for power plants / Industrial Plants / Ed. VGB Power Tech e. V. 3rd ed. Essen: Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften, 2011.

2. Filimonova, A.A., Arakelyan, E.K., Chichirov, A.A. et al. Physicochemical Analysis of Organic Impurities in the Coolant of Combined Heat and Power Plants Equipped with Combined-Cycle Power Installations. Therm. Eng. 67, pp. 314–319 (2020). <https://doi.org/10.1134/S0040601520050067>

3. Proc. Int. Water Conf., 46th Annual Meeting, Pittsburgh, PA, Nov. 4–7,1985(Eng. Soc.West.Pa.,Pittsburgh,PA, 1985). <https://www.yumpu.com/en/document/read/11613116/the-international-water-conference-eswp>

4. Slavinskaya G.V., Selemenев V.F. Organic substances as a factor complicating the conditioning of industrial and drinking water // Sorption and chromatographic processes. 2007.

Vol. 7. No. 2. pp. 297-302.

5. Martynova O.I., Petrova T.N., Ermakov O.S., Zotov A.A. Behavior of thermolysis products of organic substances in the two-phase region: boiling water–equilibrium saturated steam // Thermal power engineering. 1997. No. 6. pp. 8-11.

6. Korovin V.A., Shcherbina S.D. Potentially hazardous substances for power plant equipment // Thermal power engineering. 1999. No.2. Pp. 48-50.

7. Belokonova N.A. The Effect Of Organic Impurity On Water Purification Processes In Heat And Power Engineering (Yekaterinburg: Azhur) 104 (2008)

8. Filimonova, A.A., et al. Physical and chemical methods of organic impurities control in the feed water of waste heat boilers of thermal power plants. Journal of Physics: Conference Series, 1565(1) (2020)

9. Nevsky A.B., Larin L.A., Vinitckaya Z.I., Method for determining the content of organic substances in water, patent No. 2011987.

10. Antokhin A.M., Method for determining impurities of organic substances in water and its solutions, patent No. 2611390.

11. Zobkov M.B., Device for determining organic carbon in water with photochemical persulfate oxidation in a continuous gas flow system and IR-Fourier spectrometric detection // Factory Laboratory. Diagnostics of materials. 2015. T81. No. 5.

12. Zuev B.K., Morzhukhina S.V., Oxythermography – a new method for determining organic matter in natural objects // Geographical environment and living systems. 2009. No.4. pp.47-52.

13. Ralph W. Matthews, Georges Hall, US Patent No. 5,244,811 (September 14, 1993).

14. Vlasova A.Y., Chi-chirov A.A., Vlasov S.M., Babikov O.E., Ni-zamaeva A.V., Microbiological studies of ion exchange and combined water treatment plants //4Th international youth conference on radio electronics, electrical and power engineering, REEPE 2022.

15. Vlasova A.Y., Akhmetzyanova A.T., Babikov O.E, Analysis of the step-by-step water purification of a combined water treatment plant at a heat and power complex //4Th international youth conference on radio electronics, electrical and power engineering, REEPE 2022.

#### **Authors of the publication**

***Allyona Yu. Vlasova*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Nuclear and Thermal Power Plants" (APEC) of Kazan State Energy University (KGEU).  
*ORCID: 0000-0001-8520-5432, vlasovaay@mail.ru*

***Oleg E. Babikov*** – Assistant, Department of Nuclear and Thermal Power Plants, Kazan State Power Engineering University (KGEU).

*Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы*

***Получено*** ***29.08.2023г.***

***Отредактировано*** ***06.09.2023г.***

***Принято*** ***07.09.2023г.***